

Krista Porvari

**LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS ASUN-
NON SUHTEELLISEEN KOSTEUTEEN**

LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄN VAIKUTUS ASUN- NON SUHTEELLISEEN KOSTEUTEEN

Krista Porvari
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-suunnittelu

Tekijä: Krista Porvari

Opinnäytetyön nimi: Lämmöntalteenottojärjestelmän vaikutus asunnon suhteelliseen kosteuteen

Työn ohjaajat: Pirjo Kimari ja Rauno Holopainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 46 + 5 liitettä

Työn aiheena oli tutkia lämmöntalteenottojärjestelmän vaikutus asunnon kosteuteen. Työssä tutkittiin mittausten avulla kosteuden siirtymistä poistoilmasta takaisin tuloilmaan rekuperatiivisessa ja regeneratiivisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä. Lisäksi tarkasteltiin koekohteiden poistoilman kosteuteen vaikuttavia tekijöitä. Opinnäytetyön tilaaja on LVI-Sasto, joka toimii yhteistyössä Oulun rakennusvalvonnan kanssa Kuivaketju 10-projektissa.

Mittauksia tehtiin 18 kohteessa Oulun talousalueen ympäristössä. Kohteiden mittaukset aloitettiin keräämällä koekohteista yleistietoja ilmanvaihdosta ja kosteuskuormista. Jokaisesta koekohteesta mitattiin ilmanvaihtokoneen kokonaisilmavirrat anemometri- tai paine-eromenetelmällä. Lisäksi selvitettiin paine-eromittauksin ulko- ja sisäilman välinen paine-ero. Mittauksissa keskityttiin kosteusmittauksiin, jotka tehtiin ohjelmoiduilla USB-mittareilla. USB-mittarit mittasivat kosteutta, lämpötilaa ja kastepistettä. Yhden kohteen mittaamiseen käytettiin kuutta kosteusmittaria, joista neljä asetettiin ilmanvaihtokoneen sisälle ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilmakammioihin. Lisäksi yksi mittari asetettiin olohuoneeseen ja yksi pesuhuoneeseen. Mittausjakson pituus oli 2–5 päivää ja mittarit ohjelmoitiin mittaamaan 15 minuutin välein. Mittausjakson päätyttyä USB-mittarit poistettiin ilmanvaihtokoneesta sekä huonetiloista ja mittausdata purettiin tietokoneohjelman avulla.

Mittaustulokset järjestettiin koekohteittain taulukkoon ja tuloksista laskettiin useita suureita jokaiselle kohteelle. Muun muassa koekohteiden absoluuttiset kosteudet ja kosteustaseet määritettiin mittaustulosten perusteella. Pesu- ja olohuoneen mittaustuloksista laskettiin kosteuden kertyminen ja pesuhuoneesta selvitettiin kosteuskuormituksen palautumisaika. Laskelmien perusteella piirrettiin erilaisia kuvaajia kosteuden siirtymisestä ja kertymisestä. Lisäksi tuloksista koottiin erilaisia taulukoita kosteuksista, lämpötiloista ja kastepisteistä.

Mittaustulokset osoittivat, että lämmöntalteenottojärjestelmällä on suuri vaikutus asunnon suhteelliseen kosteuteen. Lisäksi havaittiin monien muiden tekijöiden, kuten henkilömäärän vaikuttavan huoneilman kosteuteen.

Asiasanat: kosteus, ilmanvaihtojärjestelmät, lämmöntalteenotto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building Services, HVAC-Engineering

Author: Krista Porvari

Title of thesis: Effect of Heat Recovery on Household Relative Humidity

Supervisors: Pirjo Kimari and Rauno Holopainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016 Pages: 46 + 5
appendices

The purpose of the thesis work was to study the effect of the heat recovery ventilation (HRV) to the moisture inside private houses and detached houses. The transfer of the moisture from the airflows to the apartment was studied in various heat recovery ventilation units. In addition the effect of different moisture loads were studied.

The measurements were performed in 18 households around Oulu. The background information on the type of the HRV and the loads, as number of persons living in the household, were taken as preliminary information. The total air flows were measured from all of the households with anemometer method. The pressure difference method was applied in some of the case. The performed measurements were focused on relative moisture logging with USB-type of devices. The moisture, temperature and the dew point was logged with six loggers placed in HRV unit and living room and bathroom. The measurement periods ranged from two to five days.

The data logged were organized to tables and used to evaluate various different quantities for each household. For example the absolute moistures were defined. The obtained results were drawn in the form of diagrams and tables.

The main result of the thesis is that the type of the HRV effects on the moisture balance of the household. In addition the effect of various other parameters, like number of persons, to the relative moisture stability of a household.

Keywords: moisture, heat recovery ventilation, airflow, household

ALKULAUSE

Haluan kiittää työn tilaajaa Janne Nevalaa (LVI-Sasto) mielenkiintoisesta aiheesta. Kiitos ohjauksesta työn aikana kuuluu tilaajalle ja koko mukana olleelle Kuivaketju10-tiimille sekä opinnäytetyön ohjaajille Pirjo Kimarille ja Rauno Holopaiselle.

Lisäksi haluan kiittää koekohteiden asukkaita osallistumisesta opinnäytetyöhöni ja hyvin sujuneesta yhteistyöstä mittausten aikana.

Lopuksi haluan kiittää perhettä tuesta ja kannustuksesta koko työn aikana. Eri-tyiskiitos kuuluu myös mittauksissa avustaneille ja opinnäytetyön kirjoittamisessa kannustaneille ystävilleni.

Oulussa 28.3.2016

Krista Porvari

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
1 JOHDANTO	8
2 ASUNTOJEN SISÄILMAN KOSTEUS	9
2.1 Kosteus käsitteenä	9
2.2 Kosteuskuormat ja sää	10
2.3 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus	11
2.4 Kosteustase	14
3 KOEKOHTEIDEN MITTAUKSET	16
3.1 Koekohteiden yleistiedot	16
3.2 Ilmavirrat	16
3.2.1 Mittausmenetelmä	17
3.2.2 Tulokset	19
3.3 Lämpötila- ja kosteusmittaukset	20
3.3.1 Mittausmenetelmä	21
3.3.2 Tulokset	27
4 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY	34
5 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43
LIITTEET	45

SANASTO

Ilmanvaihtokone (IV-kone)	Laite, jolla voidaan muuttaa esimerkiksi ilman laatua, nopeutta ja lämpötilaa (1, s. 332)
Jäteilma	Rakennuksesta ulosjohdettava poistoilma (1, s. 332)
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	Tuloilmapuhaltimella puhalletaan raitista ilmaa huonetiloihin ja poistopuhaltimella poistetaan ilmaa huonetiloista. Ilmanvaihdon tehostaminen ja lämmöntalteenotto on mahdollista koneellisessa järjestelmässä (2, linkit Sisäilma -> Ilmanvaihto)
Kosteuskuorma	Huoneilmaan tuleva tai syntyvä vesi (1, s. 333)
Poistoilma	Huonetilasta poistettava ilma (1, s. 336)
Päätelaite	Huonetilan laite, jonka kautta tulo- tai poistoilma virtaa. Esimerkiksi tulo- tai poistoilma-venttiili (1, s. 337)
Tuloilma	Huonetilaan johdettava ilma (1, s.339)
Ulkoilma	Ulkoa ilmanvaihtokoneelle otettu ilma (1, s. 340)

1 JOHDANTO

Asuinrakennuksissa voi syntyä kosteusongelmia, jos ilmanvaihto on kosteuskuormaan nähden riittämätön tai ilmanvaihto on säädetty väärin. Ongelmia voi syntyä jo rakennusvaiheessa, mikäli kosteuden hallintaan ei kiinnitetä riittävä huomiota. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (3, s. 1–34) on annettu määräyksiä ja ohjeita rakennusten sisäilmaston ja ilmanvaihdon toteuttamiseen.

Opinnäytetyön tilaaja LVI-Sasto toimii yhteistyössä Oulun rakennusvalvonnan kanssa kesällä 2016 valmistuvassa Kuivaketju 10-projektissa, jossa kosteusriskejä torjutaan koko rakennusprojektin ajan, tilausvaiheesta rakennuksen käyttöön. Osana projektia laaditaan ohjekortteja, joiden avulla pyritään minimoimaan kosteuden aiheuttamia ongelmia uusissa rakennuksissa. (4, linkit Kuivaketju 10.)

Tässä työssä arvioitiin rakennusten kosteuskuormia ja niiden jakautumista eri tekijöihin. Työn tavoitteena oli selvittää mittauksin kosteuden siirtyminen poistoilmasta takaisin tuloilmaan erilaisissa lämmöntalteenottoratkaisuissa. Koekohteissa selvitettiin myös poistoilman kosteuteen vaikuttavia tekijöitä ja niiden osuuksia, kuten ulkoilman kosteussisältö sekä toiminnot asunnoissa, kuten pyykin kuivaus, ruoan laitto ja saunominen.

Työssä selvitettiin koekohteiden ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilman kosteudet, lämpötilat sekä kastepisteet 2–5 päivän seurantamittauksena. Koekohteiden olohuoneiden ja pesuhuoneiden olosuhteet selvitettiin samojen suureiden osalta. Tuloksista laskettiin tuloilman lämpötilasuhteet ja kosteudensiirron suhteet.

Tutkimusmenetelminä työssä käytettiin ilmavirtojen, paineen, kosteuden, lämpötilan ja kastepisteen mittauksia. Koekohteiden kosteuskuormat määritettiin mitaustulosten perusteella. Tulo- ja poistoilmavirrat mitattiin huonetilojen päätelaitteista ja ilmanvaihtokoneen kokonaisilmavirrat laskettiin päätelaitteiden ilmavirtojen summana. Samalla mitattiin koekohteiden painesuhde ulkoilmaan nähden, sillä rakenteiden kosteusvaurioiden välttämiseksi on vältettävä rakennuksen ylipaineisuutta.

2 ASUNTOJEN SISÄILMAN KOSTEUS

Sisäilman kosteus vaikuttaa asuntojen lämpöolosuhteisiin ja ilman laatuun. Liiallinen kosteus voi johtaa kosteuden tiivistymiseen rakenteissa ja sitä kautta aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita asunnoissa. Liian kostea ilma lisää pölypunkkien ja mikrobien elinmahdollisuuksia. Toisaalta sisäilman kuivuus voi aiheuttaa terveydellisiä ongelmia erityisesti herkille ihmisille. Asuntojen sisäilman suhteellisen kosteuden hyväksyttävänä arvoina on pidetty 20–60 prosenttia. (5, s. 16; 1, s. 24.)

Tässä luvussa käsitellään asuntojen sisäilman kosteutta käsitteenä ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti on kiinnitetty huomiota siihen, miten ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa rakennuksen sisäilman kosteuteen.

2.1 Kosteus käsitteenä

Kosteuden perustana on vesi kaikissa olomuodoissaan. Vesi eli myös kosteus voi esiintyä kiinteässä muodossa, nesteinä tai kaasuna. Veden olomuodonmuutoksissa vapautuu tai sitoutuu energiaa.

Kosteus kuvaa aineen vesipitoisuutta. Veden ominaisuuksiin kuuluu tiivistyminen, ja siksi kastepiste on oleellinen käsite ilman kosteudessa. Kastepisteellä tarkoitetaan lämpötilaa, jossa ilmassa oleva vesihöyry alkaa tiivistyä vedeksi. Vesihöyryn määrää eli kosteutta voidaan ilmaista absoluuttisena tai suhteellisenä kosteutena. (6, s. 5; 7, linkit Teematietoa -> Kysymyksiä ja vastauksia -> Lämpötila ja kosteus; 8, linkit Teematietoa -> Sääennuste -> Tunne termit – ymmärrä säätiedotus -> Ilman kosteus.)

Suhteellinen kosteus kertoo ilman vesihöyryn osapaineen suhteen kylläiseen vesihöyryn paineeseen (9, s. 7). Kylläisen vesihöyryn paine on riippuvainen lämpötilasta, ja se kertoo, kuinka paljon vesihöyryä voi enimmillään olla ilmassa. Suhteellinen kosteus ilmaistaan prosentteina (%).

Absoluuttinen kosteus kuvaa vesisisältöä suhteessa ilmatilavuuteen, esimerkiksi kuinka monta kiloa vesihöyryä on kilossa kuivaa ilmaa ($\text{kg}/\text{kg}_{\text{k.i}}$). Absoluutti-

nen kosteus voidaan ilmaista myös grammoina ilmakeuutiota kohti (g/m^3). Absoluuttisen kosteuden yläraja määräytyy kylläisen vesihöyrypaineen perusteella. (8, linkit Teematietoa -> Sääennuste -> Tunne termit – ymmärrä säätiedotus -> Ilman kosteus.)

2.2 Kosteuskuormat ja sää

Vuodenajat ja sääolot vaikuttavat sisäilman kosteuteen. Suomessa sisäilma on talvella yleensä kuivaa ja kesällä kosteaa. Vesihöyryn määrä on riippuvainen lämpötilasta, ja sen vuoksi ulkoilman ollessa kylmää siihen pystyy sitoutumaan vähemmän vesihöyryä kuin lämpimämpään ilmaan, ja siksi sisäilma on talvella kuivempaa. Vastaavasti kesällä ulkolämpötilojen noustessa vesihöyryn kokonaismäärä ilmassa on suurempi, jolloin sisäilma on tyypillisesti kosteampaa. Ulkoilman kosteus vaikuttaa sisäilman kosteuteen, koska sisälle tulevassa lämmitetyssä tuloilmassa on yhtä paljon kosteutta kuin ulkoilmassa. Sään yhteydessä ulkoilman kosteudesta puhutaan yleensä suhteellisena kosteutena.

Optimaalista sisäilman kosteutta on vaikea määrittellä. Sisäilman kostuttaminen vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen ja hoitamaton ilmakeuutin voi olla hygieniariski. Tämän vuoksi ilman keskitetystä kostuttamisesta on pääosin luovuttu. Normaalisti talviolosuhteissa sisäilma koetaan miellyttäväksi, jos suhteellinen kosteus on 20–40 %. Kesällä suhteellinen kosteus sisäilmassa on noin 50–70 %. (2, linkit Sisäilma -> Hiukkasmaiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet -> Kuiva ja kostea ilma; 3, s. 8.) Ihmiset kokevat ilman kosteuden eri tavoin ja yleensä liian kuiva tai kostea ilma koetaan eri pitoisuuksina epämiellyttävänä. Talvisin sisäilman kuivuus voi aiheuttaa herkille ihmisille esimerkiksi hengitystieoireita.

Kastepistelämpötilassa ilman kosteus tiivistyy vedeksi, ja ilmiön voi havaita esimerkiksi vesipisaroiden muodostumisena ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin pinnoilla. Veden tiivistymisen vuoksi ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto-kennon saattaa talvisin jäättyä. (Kuva 1.) Jäätymistä pyritään ehkäisemään esimerkiksi tuloilmapuhaltimen pysäyttämällä levylämmönsiirtimissä. Pyörivissä lämmönsiirtimissä pyörivän kennon pyörimisnopeus hidastuu ja pinnalle kertynyt jää sulaa viipyessään pidemmän aikaa lämpimän poistoilman puolella. Il-

manvaihtokoneet varustetaan tyypillisesti kondenssivesialtaalla, josta sulamisvesi johdetaan vesilukon kautta viemäriin.



KUVA 1. Jäätynyt lämmönsiirrin (Kuvaaja Jukka-Pekka Kukkola)

2.3 Ilmanvaihtojärjestelmän vaikutus

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkoituksena on pitää asuintilojen sisäilma raikkaana ja puhtaana. Huoneissa syntyvät epäpuhtaudet sekä hiilidioksidi pyritään poistamaan nopeasti ja epäpuhtauksien leviäminen huonetilojen välillä pyritään estämään. Nopea ilman vaihtuminen oleskeluvyöhykkeellä takaa miellyttävän sisäilman ja lisää viihtyvyyttä. (1, s. 153.)

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on nykypäivää varsinkin uusissa ja uudehkoissa rakennuksissa. Koneellisen ilmanvaihdon yhteydessä käytetään lämmöntalteenottoa (LTO), jonka tarkoituksena on kerätä talteen mahdollisimman paljon lämpöenergiaa. Lämpöenergia kerätään poistoilmasta sen kulkiessa LTO-kennon läpi ja siirretään tuloilman lämmitykseen.

Tässä työssä on vertailtu kahta erityyppistä lämmönsiirrintä. Rekuperatiivisessa lämmönsiirtimessä eli levylämmönsiirtimessä ilmavirrat kulkevat ristikkäin sekoittumatta toisiinsa. (Kuva 2.) Levylämmönsiirtimessä on kiinteä kenno, jonka väleissä virtaa lämmin huonetiloista poistettava ilma ja ulkoa sisätiloihin tuleva

ilma. Tässä lämmönsiirtimessä ilmavirrat kulkevat täysin erillisiä reittejä, jolloin kosteus ei voi siirtyä ilmavirtojen välillä.



KUVA 2. Levylämmönsiirrin

Pyörivässä eli regeneratiivisessa lämmöntalteenottolaitteessa on kenno, jonka lämmönsiirtokennot lämpenevät ollessaan lämpimän poistoilman puolella ja jäähtyvät kylmemmän ulkoilman puolella (kuva 3). Hyvin kuumina kesäpäivinä toiminta voi olla myös käänteistä ja ulkoilmaa viileämmällä sisäilmalla jäähdytetään lämmintä ulkoilmaa. Pyörivässä lämmöntalteenotossa ulko- ja poistoilma sekoittuvat hieman, ja täten myös kosteus voi siirtyä tulo- ja poistoilman välillä. Tietyissä talviolosuhteissa myös veden kondensoituminen voi lisätä siirtyvää kosteusmäärää poistoilmasta tuloilmaan.



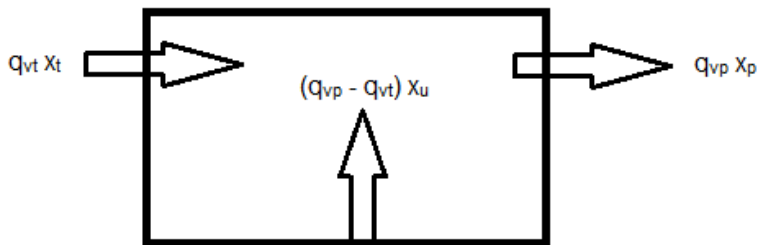
KUVA 3. Pyörivä lämmönsiirrin

Sisäilman suhteellisen kosteuden ollessa hyvin suuri ja sen kulkeutuessa poistoilman mukana LTO-kennon lävitse, huoneista poistettava kosteus pääsee osaksi siirtymään tuloilmaan. Tällöin myös huonetilojen tuloilman kosteusprosentti voi pyörivän lämmönsiirtimen rakennuksissa olla ulkoilmaa suurempi. Levylämmönsiirtimissä huonetilan tuloilman kosteusmäärään vaikuttaa ainoastaan ulkoilman kosteus, koska siirtymää poistoilmasta tuloilmaan ei voi tapahtua.

2.4 Kosteustase

Tässä työssä on tutkittu asuinrakennusten ilmanvaihdon absoluuttisia kosteuksia. Mitattujen IV-koneiden ilmavirtojen sekä ilmavirtojen lämpötilojen ja kosteuksien perusteella saatiin tarvittavat suureet kosteustaseen muodostamiseen.

Ilmanvaihdon mukana huoneilmaan siirtyvä kosteus (kg/d) saadaan laskettua poisto- ja tuloilman mukana kulkeutuvien kosteuksien erotuksena. Kosteuskuorman laskemisessa otettiin huomioon absoluuttiset kosteudet tulo- ja poistoilmassa, kosteusemissio huonetilassa sekä tulo- ja poistoilmavirrat. (1, s. 56–57.) Kyseiset ilmanlaadun laskentaan vaikuttavat tekijät esitetään kuvassa 4.



KUVA 4. Merkinnät kosteuskuorma

Vesihöyrynä esiintyvää vettä syntyy arkisissa askareissa, kuten ruuanlaitossa, pyykin kuivattamisessa sekä suihkun ja saunan käytön yhteydessä. Pienissäkin perheissä syntyy useita litroja kosteutta päivän aikana.

Syntyvien kosteuskuormien poistaminen tehokkaasti ilmanvaihdon avulla on erittäin tärkeää, jotta sisäilman kosteus ei jäisi pitkäaikaisesti liian korkeaksi. Asunnoissa yksi merkittävimpiä kosteuskuormia on peseytymisestä aiheutuvat kosteuskuormat. Esimerkiksi saunomisen yhteydessä sisäilman suhteellinen kosteus voi nousta hetkellisesti korkeaksi. Pesuhuoneessa syntyneet kosteuskuormat leviävät myös muihin huonetiloihin avoimien ovien kautta. Kosteutta haihtuu sisäilmaan etenkin pyykkien kuivattamisen yhteydessä. Vaatteista ja erityisesti isoista tekstiileistä voi haihtua useita kiloja vettä huoneilmaan. Kodin

askareissa ruuanlaitto synnyttää kosteutta, jota pyritään poistamaan keittiön poistoilman lisäksi esimerkiksi liesituulettimen avulla. Liesituuletin on tarkoitettu paikallisesti ilman ja kosteuskuormien poistamiseen ruoanlaiton yhteydessä. Yhtenä merkittävänä kosteuskuormituksen lähteenä saattaa olla uudet rakenteet. Esimerkiksi betonin kuivamiseen kuluu paljon aikaa. Liian kostea sisäilma saattaa mahdollistaa mikrobien sekä sienten kasvun ja on siksi vaaraksi rakenteille. Ilman kosteus ei saa olla pitkäaikaisesti liian korkea eikä kosteus saa tiivistyä ikkunoiden tai muiden rakenteiden pinnoille.

3 KOEKOHTEIDEN MITTAUKSET

Kohteiksi valittiin yhteensä 18 omakoti- ja paritaloa Oulun talousalueelta. Tässä luvussa esitellään koekohteet, joissa mittaukset suoritettiin, sekä kerrotaan käytetyistä mittausmenetelmistä ja saaduista tuloksista ilmajirtojen, lämpötilojen ja kosteuksien osalta.

3.1 Koekohteiden yleistiedot

Kohteista kerättiin perustietoja asukkaita haastattelemalla ja tulokset koottiin kohdekohtaisesti mittauspöytäkirjaan. Mittauspöytäkirjaan kirjattiin mittausajan kohta ja ulkoilman lämpötila. Kohteista selvitettiin rakennusvuosi, pinta-ala, kerrosten lukumäärä, perustuksen tyyppi, seinän uloin rakenne, huonekorkeus ja henkilömäärä. Lisäksi kerättiin tietoja mahdollisista ilmanvaihdon ongelmista, säädöistä, ilmanvaihtokanavien nuohouksista, suodattimien vaihdoista ja aiemmin tehdyistä mittauksista.

Ilmanvaihtokoneista kirjattiin koneen tyyppi eli oliko kyseessä levylämmönsiirrin vai pyörivä lämmönsiirrin. Myös merkki, malli, käyttöteho ja käyttöönottopäivän määrä kirjattiin mittauspöytäkirjaan. (Liite 2.)

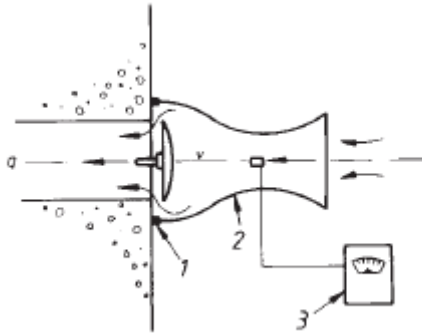
Mittauspöytäkirjojen perusteella kaikki kohteiden yleistiedot koottiin samaan taulukkoon. Taulukosta nähdään, millaisia kohteita oli mukana mittauksissa. Lisäksi taulukon avulla voidaan vertailla kohteiden yleistietoja keskenään. (Liite 3.)

3.2 Ilmajirrat

Kaikki tähän työhön valitut kohteet oli varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla. Koekohteista mitattiin tulo- ja poistoilmajirrat huonekohtaisesti ja niistä laskettiin ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmajirrat. Ilmajirrat mitattiin jokaisesta päätelaitteesta erikseen ja lukemat kirjattiin mittauspöytäkirjaan. (Liite 4.) Mittauksissa kiinnitettiin huomiota siihen, että koneet kävivät mittausten ajan ilmanvaihtokoneen mitoitusteholla. Yleensä mitoitusteho tarkoitti koneen keski-tehoa.

3.2.1 Mittausmenetelmä

Koekohteiden ilmavirrat mitattiin anemometritorvella (kuva 5) ja osaksi kalibroidun paine-eroanturin avulla.



KUVA 5. Anemometrimenetelmä (10, s. 7)

Anemometritorvi perustuu ilman nopeuden mittaamiseen kuumalanka-anturilla. (Kuva 6.) Kuumalanka-anturi kiinnitetään tiiviisti torven kapeimpaan kohtaan, jossa ilmavirta kulkee tasaisesti. Torvi painetaan tiiviisti seinä- tai kattopintaan, minkä jälkeen nopeuden annetaan tasaantua. Saatu tulos luettiin VelociCalc-mittarin näytöltä.



KUVA 6. Kuumalanka-anturi

Mitatusta ilmannopeudesta (m/s) laskettiin torvelle ominaisen kertoimen avulla ilmavirta (dm^3/s), joka kirjattiin mittauspöytäkirjaan (kaava 1).

Ilmavirta lasketaan kaavalla 1 (10, s. 7).

$$q = kv$$

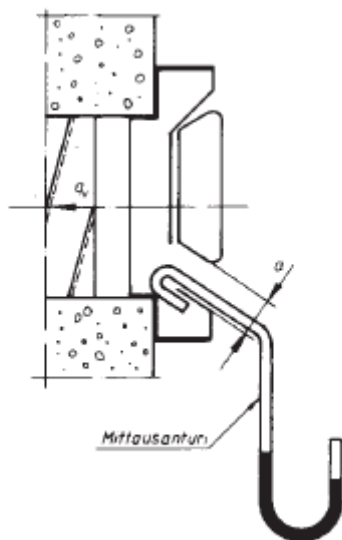
KAAVA 1

q = ilmavirta (dm³/s)

v = nopeus (m/s)

k = anemometritorven kerroin

Osa ilmavirtamittauksista suoritettiin paine-eroanturilla, sillä anemometritorvea ei saatu sovitettua kaikkiin ahtaisiin tiloihin. Paine-eron mittaamiseen tarvitaan kalibroitu mittauskoukku, joka kiinnitetään letkulla mittalaitteeseen. Mittauskoukku asetetaan tulo- tai poistoilmaventtiin kauluksen taakse ja paine-ero luetaan mittalaitteesta. (Kuva 7.) Saatu paine-ero muutetaan ilmavirraksi venttiilin avauman (mm) ja venttiilille ominaisen k-kertoimen avulla (kaava 2).



KUVA 7. Paine-eron mittausmenetelmä (10, s. 7)

Ilmavirta lasketaan kaavalla 2 (11, s. 1).

$$q_v = k\sqrt{\Delta p}$$

KAAVA 2

q_v = ilmavirta (dm³/s)

k = valmistajan ilmoittama venttiilin k-arvo

Δp = paine-ero (Pa)

Ilmavirtojen mittaamisen yhteydessä mitattiin rakennuksen paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-eron mittaamiseen käytettiin VelociCalc-mittaria, muovilettoa ja kupariputkea. (Kuva 8.) Kupariputki asetettiin oven ja karmin väliin siten, että sen toinen pää oli oven ylä- tai alapuolelta ulkoilmassa. Paine-eron annettiin tasaantua, minkä jälkeen mittaustulos kirjattiin mittauspöytäkirjaan.



KUVA 8. Paine-eron mittauslaitteisto

Ilmanvaihdon vertailemiseksi ilmavirta laskettiin asunnon lattiapinta-alaa kohden (kaava 3).

Ilmanvaihdon suuruus lasketaan kaavalla 3

$$q_a = q_v / A$$

KAAVA 3

q_a = Ilmanvaihdon suuruus ((l/s)/m²)

q_v = Tulo- tai poistoilman kokonaisilmavirta (l/s)

A = Lattiapinta-ala (m²)

3.2.2 Tulokset

Koekohteiden ilmavirtojen mittaustulokset vaihtelevat välillä 0,2–0,6 (dm³/s)/m². Ilmanvaihdon kokonaisilmavirtojen avulla laskettiin ilmanvaihdon suuruus lattiapinta-alaa kohti (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Koekohteiden ilmavirrat

Kohde Nro	Ilmavirrat		
	Tulo (l/s)	Poisto (l/s)	(l/s)/m ²
1	55	49	0,6
2	59	66	0,5
3	52	64	0,6
4	57	64	0,5
5	46	54	0,3
6	57	80	0,3
7	45	51	0,4
8	50	59	0,3
9	44	54	0,4
10	24	26	0,2
11	68	96	0,5
12	20	38	0,3
13	23	37	0,4
14	79	93	0,5
15	40	42	0,4
16	63	58	0,6
17	42	46	0,4
21	28	36	0,2

Suurin osa mittauskohteista oli alipaineisia mitatun paine-eron perusteella. Kaksois- ja kolmis-kerroksisissa taloissa paine-ero mitattiin sekä ala- että yläkerrassa. Mittauksissa todettiin, että alakerrassa mittautulokset olivat alipaineisia ja yläkerrassa lievästi ylipaineisia. Yläkerran ylipaineisuus johtuu usein termisestä nosteesta. Normaalitytilanteessa alakerrassa paine-ero ulkoilmaan nähden on siis alipaineinen ja yläkerrassa usein hieman ylipaineinen. Termisen nosteen vuoksi yläkerran mitoittaminen alipaineiseksi on vaikeaa, jos asunnossa on suora yhteys ala- ja yläkerran välillä.

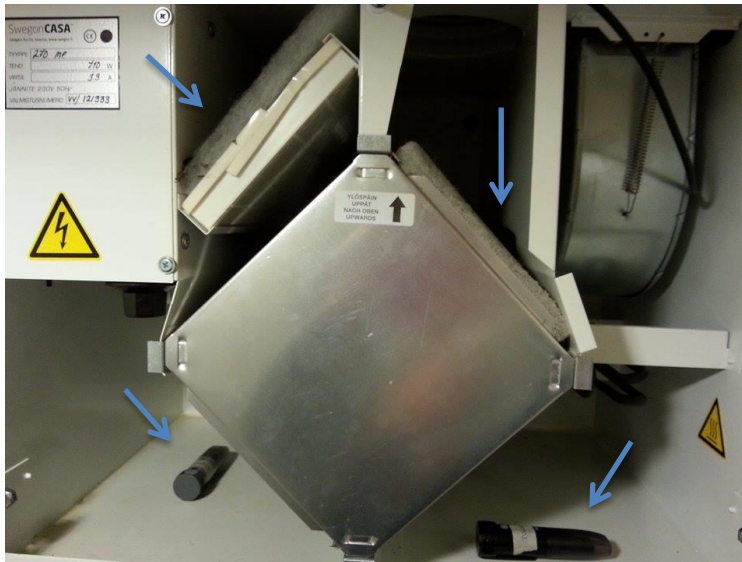
3.3 Lämpötila- ja kosteusmittaukset

Ilman lämpötila ja kosteus mitattiin olohuoneen ja pesuhuoneen lisäksi ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilmasta. Mittausjakson pituus oli kahdesta viiteen päivään. Mittausjakson aikana kohteen asukkaat pitivät kirjaa kosteuteen ja lämpötilaan vaikuttavista tekijöistä. (Liite 5.)

3.3.1 Mittausmenetelmä

Lämpötila- ja kosteusmittaukset suoritettiin EasyLogUSB-mittareilla. Näillä mittareilla saatiin myös kastepisteet jatkuvana mittauksena. Ennen kohteen mittauksien aloittamista mittarit ohjelmoitiin tietokoneella aloittamaan tietystä ajan hetkestä ja mittaamaan tietyllä aikavälillä. Mittaukset suoritettiin jatkuvana mittauksena 15 minuutin välein. Mittausjakson jälkeen tulokset purettiin tietokoneelle.

Yhden kohteen mittaamiseen käytettiin kuutta USB-mittaria. Neljä mittaria asennettiin ilmanvaihtokoneen sisälle lämmöntalteenoton eri puolille ulko-, tulo-, poisto-, ja jäteilman kammioihin. (Kuva 9.)



KUVA 9. Mittarit sijoitettuna ilmanvaihtokoneeseen

Kaksi USB-mittaria jätettiin mittaamaan huonetilojen kosteutta ja lämpötilaa. Mitattaviksi huoneiksi valittiin asunnon olohuone ja pesuhuone. Ilmanvaihtokoneen sisällä ja pesuhuoneessa USB-mittarit sijoitettiin niin, ettei kondensoitua tai roiskuva vesi haitannut mittauksia. (Kuva 10.)



KUVA 10. USB-mittari suojattuna vedeltä

Ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilman absoluuttisten kosteuksien laskemiseksi käytettiin USB-mittareiden keräämää dataa, joka taulukoitiin käyttäen EasyLogUSB-ohjelmaa. Mitatut lämpötilat muunnettiin Kelvin-asteiksi (kaava 4).

Lämpötilat muutetaan kelvineiksi kaavalla 4 (12, s. 106).

$$T = t + 273,15K$$

KAAVA 4

T = termodynaaminen lämpötila (K)

t = lämpötila celsiusasteina (°C)

Lämpötilojen avulla laskettiin kylläisen vesihöyryn paine P_{hs} (kaava 5).

Vesihöyryn kyllästyspaine lasketaan kaavalla 5 (1, s. 188).

$$p_{hs} = e^{\frac{77,345 + 0,0057 * T - \frac{7235}{T}}{T^{8,2}}}$$

KAAVA 5

p_{hs} = vesihöyryn kyllästyspaine (Pa)

e = Neperin luku

T = Ilman lämpötila (K)

Mitatun suhteellisen kosteuden ja suureen P_{hs} avulla laskettiin vesihöyryn osapaine P_h (kaava 6).

Vesihöyryn osapaine lasketaan kaavalla 6 (1, s. 188).

$$p_h = \varphi p_{hs}$$

KAAVA 6

p_h = vesihöyryn osapaine (Pa)

φ = suhteellinen kosteus (%)

p_{hs} = vesihöyryn kyllästyspaine (Pa)

Absoluuttinen kosteus saatiin laskettua suureen P_h avulla (kaava 7). Absoluuttisten kosteuksien hetkellisistä arvoista laskettiin koko mittausajan keskiarvot.

Absoluuttinen kosteus lasketaan kaavalla 7 (1, s. 188).

$$x = 0,622 \frac{p_h}{101325 - p_h}$$

KAAVA 7

x = absoluuttinen kosteus (kg/kg_{k.i})

p_h = vesihöyryn osapaine (Pa)

Mittaustulosten perusteella haluttiin selvittää ilmanvaihtokoneen sisällä tapahtuvia vaihteluja lämpötiloissa ja kosteuksissa. Laskettiin absoluuttisten kosteuksien erot keskiarvoina poistoilman ja tuloilman välillä ($x_p - x_t$), tuloilman ja ulkoilman välillä ($x_t - x_u$), poistoilman ja jäteilman välillä ($x_p - x_j$) sekä poistoilman ja ulkoilman välillä ($x_p - x_u$).

Työssä laskettiin ilmaan siirtyneen veden määrä eli keskiarvokuormitus ilmavirtojen ja absoluuttisten kosteuksien keskiarvojen perusteella poistoilman ja ulkoilman välillä (kaava 8).

Ilmaan siirtynyt vesi lasketaan kaavalla 8 (1, s. 193).

$$q_{mv} = q_{vp}(x_p - x_u) 1,2 \text{ kg/m}^3$$

KAAVA 8

q_{mv} = ilmaan siirtynyt vesi (g/s)

q_{vp} = poistoilmavirta (dm³/s)

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Vastaavalla tavalla laskettiin siirtyneen veden määrä tuloilman ja ulkoilman välillä (kaava 9) sekä poistoilman ja jäteilman välillä (kaava 10).

Ilmaan siirtynyt vesi lasketaan kaavalla 9 (1, s. 193).

$$q_{mv} = q_{vt}(x_t - x_u) 1,2 \text{ kg/m}^3$$

KAAVA 9

q_{mv} = ilmaan siirtynyt vesi (g/s)

q_{vt} = tuloilmavirta (dm³/s)

x_t = tuloilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Ilmaan siirtynyt vesi lasketaan kaavalla 10 (1, s. 193).

$$q_{mv} = q_{vp}(x_p - x_j) 1,2 \text{ kg/m}^3$$

KAAVA 10

q_{mv} = ilmaan siirtynyt vesi (g/s)

q_{vp} = poistoilmavirta (dm³/s)

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_j = jäteilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Kosteudensiirron hyötysuhde laskettiin pyörivälle lämmönsiirtimelle mittaustulosten perusteella. (Kaava 11.) Hyötysuhteen määrittämiseksi käytettiin aiemmin esitettyjä kaavoja 8 ja 9. Lisäksi selvitettiin kosteuden siirron suhde eri- ja samansuuruisille ilmavirroille. (Kaava 12 ja 13.) Pyörivälle lämmönsiirtimelle laskettiin myös kosteustase. (Kaava 14.)

Kosteudensiirron hyötysuhde lasketaan kaavalla 11 (1, s. 286).

$$\eta_x = \frac{q_{vt}(x_t - x_u)}{q_{vp}(x_p - x_u)} 100$$

KAAVA 11

η_x = kosteudensiirron hyötysuhde (%)

q_{vt} = tuloilmavirta (dm³/s)

q_{vp} = poistoilmavirta (dm³/s)

x_t = tuloilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Kosteudensiirron hyötysuhde erisuuruksille ilmavirroille lasketaan kaavalla 12 (1, s. 286).

$$\eta_{x,eri} = \frac{x_t - x_u}{x_p - x_u} 100 \quad \text{KAAVA 12}$$

$\eta_{x,eri}$ = kosteudensiirron hyötysuhde erisuuruksille ilmavirroille (%)

x_t = tuloilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Kosteudensiirron hyötysuhde samansuuruksille ilmavirroille lasketaan kaavalla 13 (1, s. 286).

$$\eta_{x,sama} = \left(\frac{x_t - x_u}{x_p - x_u} 100 \right) * \frac{1 + \frac{q_{vt}}{q_{vp}}}{2} \quad \text{KAAVA 13}$$

$\eta_{x,sama}$ = kosteudensiirron hyötysuhde erisuuruksille ilmavirroille (%)

x_t = tuloilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

q_{vt} = Tuloilmavirta (dm³/s)

q_{vp} = poistoilmavirta (dm³/s)

Kuvasta 4 saadaan ilmanvaihdon mukana tulevaksi kosteuskuormaksi

$$x_{tase} = q_{vp}x_p - q_{vt}x_t - (q_{vp} - q_{vt})x_u \quad \text{KAAVA 14}$$

x_{tase} = kosteustase (kg/s)

q_{vp} = poistoilmavirta (dm³/s)

x_p = poistoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

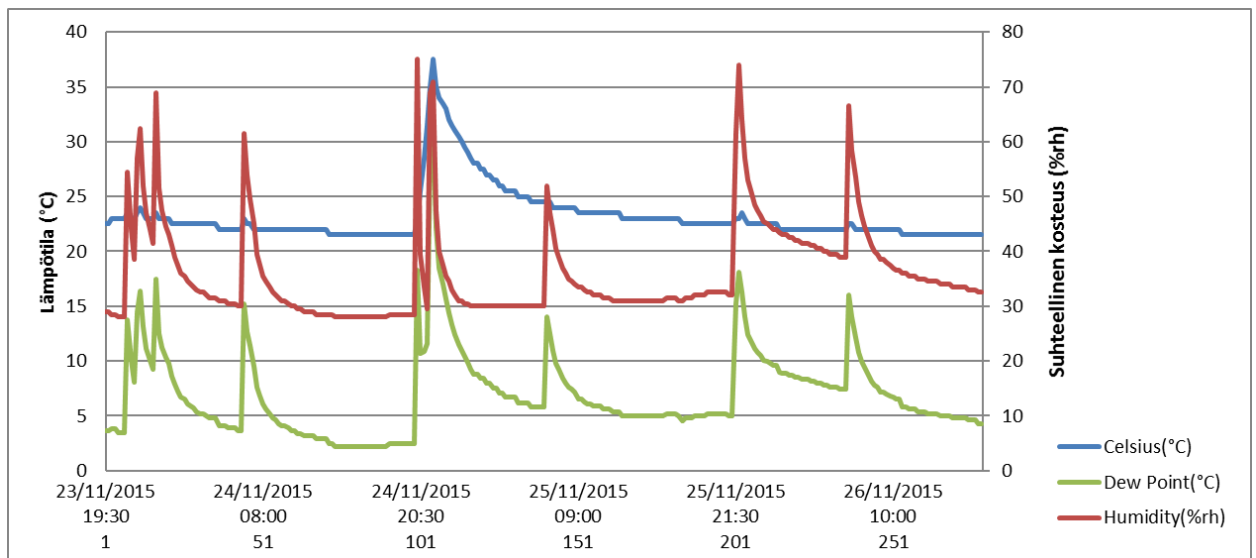
q_{vt} = Tuloilmavirta (dm³/s)

x_t = tuloilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Huonetilojen mittaustulosten perusteella laskettiin samoja suureita kuin ilmanvaihtokoneen osalta. Olohuoneen mittaustuloksista laskettiin absoluuttiset kosteudet ($\text{kg}/\text{kg}_{\text{k.i}}$) ja keskiarvo mittausjaksolta. Kosteuksien erotus laskettiin grammoina olohuoneen ja ulkoilman absoluuttisten kosteuksien välillä ($x_{\text{oh}} - x_{\text{u}}$). Lisäksi laskettiin olohuoneessa kosteuden kertymistä kiloina koko mittausjakson ajalta. (Kaava 15.) Erikseen laskettiin myös henkilöistä ja rakenteista tuleva kosteuskuormitus keskiarvojen perusteella. (Kaava 16.)

Mittaustulosten perusteella laskettiin pesuhuoneen absoluuttisen kosteuden (x_{ph}) lisäksi huonetilan ja ulkoilman absoluuttisen kosteuden ero kuormitushetkellä. Pesuhuoneessa kosteuden kertyminen kiloina laskettiin vain kosteuskuormituksen aikana. Kuvaajan avulla voitiin silmämääräisesti päätellä jokaiselle kohteelle oma perustaso. Perustasolla tarkoitettiin ajanhetkiä, jolloin kosteuskuormaa ei ollut. Kosteuden kertyminen siis huomioitiin vain ajanhetkinä, jolloin kuvaaja poikkesi perustasosta. Pesuhuoneiden kuormitushetkien tuloksista laskettiin absoluuttisen kosteuden erotuksen keskiarvo grammoina. Absoluuttisen kosteuden ja kertymän kokonaismäärä laskettiin kuormitushetkellä. Kuormituksen kesto arvioitiin silmämääräisesti kuvasta ja sen perusteella laskettiin palautumisaika takaisin normaalitilanteeseen. (Kuva 11.)



KUVA 11. Malli pesuhuoneen kuvaajasta (Kohde 6)

Kosteuden kertyminen olohuoneessa lasketaan kaavalla 15 (1, s. 193).

$$x_k = (x_{oh} - x_u) * 15min * 60 \frac{s}{min} * q_{oh} / 1000 \frac{dm^3}{m^3} * 1,2 \frac{kg}{m^3} \quad \text{KAAVA 15}$$

x_{oh} = olohuoneen absoluuttinen kosteus tietyllä ajanhetkellä (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus tietyllä ajanhetkellä (kg/kg_{k.i})

q_{oh} = Olohuoneen ilmavirta (dm³/s)

Olohuoneessa henkilöistä ja rakenteista tuleva kosteuskuormitus lasketaan kaavalla 16 (1, s. 286).

$$x_{hlö} = x_{oh} - x_u \quad \text{KAAVA 16}$$

$x_{hlö}$ = henkilöistä ja rakenteista tuleva kosteuskuormitus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_{oh} = olohuoneen absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

x_u = ulkoilman absoluuttinen kosteus keskiarvona (kg/kg_{k.i})

Huonetilojen osalta mittaustulosten perusteella määritettiin kastepisteen, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden osalta minimi- ja maksimiarvot sekä keskiarvot.

3.3.2 Tulokset

Tuloksissa on esitetty laskelmat taulukoituna kohteiden lämmöntalteenotosta ja huonetiloista. Lämmöntalteenotosta lasketut kosteuden (taulukko 2) ja kastepisteiden (taulukko 3) arvot on laskettu edellä esitettyjen kaavojen 4–14 avulla. Taulukossa 2 on esitetty absoluuttisten kosteuksien erotukset, kosteuden siirtyminen sekä pyörivälle lämmöntalteenotolle kosteudensiirron hyötysuhde ja kosteustase.

Pesuhuoneen kosteuskuormat kuormitushetkien keskiarvoista ja palautumisajat koottiin samaan taulukkoon (taulukko 4). Palautumisajaksi määriteltiin ajanjakso, jolloin kosteuskertymän kuvaaja poikkesi perustasosta. Huonetiloista mitattujen arvojen ja laskelmien perusteella on taulukoitu kastepisteet (taulukko 5), lämpötilat (taulukko 6) ja suhteelliset kosteudet (taulukko 7) minimi-, maksimi- ja keskiarvoista.

TAULUKKO 2. Kosteus lämmöntalteenotossa

Kohde nro	$x_p - x_t$ (kg/kg _{k,i})	$x_t - x_u$ (kg/kg _{k,i})	$x_p - x_j$ (kg/kg _{k,i})	$q_{vt}(x_t - x_u)$ (g/s)	$q_{vp}(x_p - x_j)$ (g/s)	$x_p - x_u$ (kg/kg _{k,i})	$q_{vp}(x_p - x_u)$ (g/s)	pyöriivälle η_{kost} (%)	$q_{vp} * x_p - q_{vt} * x_t - (q_{vp} - q_{vt}) * x_u$ (kg/d)
1	0,0010	0,0002	0,0003	0,0109	0,0176	0,0012	0,07	-	-
2	0,0017	0,0002	-0,0010	0,0165	-0,0807	0,0019	0,15	-	-
3	0,0016	0,0011	0,0020	0,0670	0,1552	0,0027	0,21	33	11,9
4	0,0013	0,0016	0,0014	0,1096	0,1058	0,0029	0,22	50	9,5
5	0,0025	0,0009	0,0021	0,0521	0,1337	0,0035	0,23	23	15,0
6	0,0017	0,0001	0,0002	0,0045	0,0197	0,0018	0,17	-	-
7	0,0017	-0,0001	-0,0006	-0,0031	-0,0364	0,0016	0,10	-	-
8	0,0022	0,0002	0,0006	0,0104	0,0406	0,0024	0,17	-	-
9	0,0020	0,0012	0,0013	0,0631	0,0816	0,0032	0,21	31	12,4
10	0,0019	0,0004	0,0002	0,0110	0,0073	0,0022	0,07	-	-
11	0,0021	0,0015	0,0023	0,1264	0,2636	0,0036	0,42	30	25,3
12	0,0040	0,0001	0,0006	0,0022	0,0275	0,0041	0,19	-	-
13	0,0023	0,0001	0,0000	0,0038	-0,0010	0,0025	0,11	-	-
14	0,0007	0,0023	0,0025	0,2148	0,2768	0,0030	0,33	64	10,3
15	0,0027	0,0001	0,0005	0,0032	0,0241	0,0028	0,14	-	-
16	0,0007	0,0016	0,0018	0,1243	0,1285	0,0024	0,16	75	3,5
17	0,0017	0,0027	0,0032	0,1355	0,1762	0,0043	0,24	57	9,0
21	0,0029	0,0000	0,0001	0,0008	0,0062	0,0029	0,13	-	-

TAULUKKO 3. Laskelmat lämmöntalteenoton kastepisteistä

Kohde nro	Kastepistelämpötilat °C			
	Tuloilma		Poistoilma	
	Min	Max	Min	Max
1	2,9	9,1	5,7	26
2	0,3	8,4	4,1	20,1
3	2,4	22,7	5,9	26,9
4	2,7	18,4	5,6	21,8
5	-7,1	16	4,1	27,7
6	-4,1	2,6	1,9	17,4
7	-0,8	6,4	3,9	26,5
8	-2,5	5,1	3,2	22,4
9	-1,3	17,2	4,8	20,1
10	-0,9	3,1	4,9	14,3
11	-2,5	20,2	5,2	24,5
12	-20,6	-0,7	2,4	26,4
13	-25,4	-13,1	-4,8	10,2
14	-9,3	5,8	-4,2	10,7
15	-30,6	-13,1	-5,4	3,4
16	-0,9	13,6	1,2	14,9
17	1	8,6	5,2	12
21	-25,4	-10,6	-4,9	27,8

TAULUKKO 4. Pesuhuoneen kertynyt kosteusmäärä ja palautumisaika

Kohde nro	Ka kerty- mä (kg)	Ka palautumisaika (h)	Ka palautumisaika (g/h)
1	0,36	3,8	0,10
2	1,28	4,6	0,30
3	3,26	10,8	0,39
4	0,51	1,6	0,30
5	2,28	6,8	0,35
6	0,63	3,9	0,19
7	1	4,8	0,19
8	1,19	5,9	0,23
9	2,65	6,9	0,39
10	0,32	2,4	0,15
11	1,47	3,8	0,41
12	1	5	0,23
13	0,82	6,5	0,14
14	1,25	2,8	0,47
15	0,75	5,4	0,15
16	1,53	4,2	0,40
17	1,27	3,8	0,39
21	0,81	3,8	0,23

TAULUKKO 5. Olohuoneen ja pesuhuoneen kastepisteet

Kohde nro	Kastepiste (°C)					
	Olohuone			Pesuhuone		
	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka
1	5,2	9,6	6,8	6,2	14,3	8,0
2	3,7	10,6	6,4	4,8	23,1	9,5
3	5	15,5	7,3	6,8	32,8	10,3
4	6,5	13,5	8,6	6,1	25,9	8,5
5	3,7	9,4	6,4	0,9	30,4	9,1
6	2,1	6,9	4,6	2,2	31,3	7
7	5	10,4	7,2	5	25,1	7,4
8	3,7	8,7	5,3	5,1	23,4	9,1
9	4,3	10,4	6,3	5,4	25,9	9,4
10	5,1	8,8	6,3	5,6	15,8	7,4
11	5,5	12,4	7,5	5,4	26,2	8
12	3,3	8,8	5,2	2,8	31,5	6,8
13	-4,2	2,5	-1,1	-4,6	16,9	-1,3
14	-4	1,2	-1,3	-4,6	24,7	-0,7
15	-6,2	0,5	-3,3	-4	10,9	-0,2
16	1,1	9,6	5	1,9	22,5	5,6
17	4,1	7,6	5,7	6,3	21,3	9,6
21	-5,1	0,3	-3,2	-4,1	17,6	1,6

TAULUKKO 6. Olohuoneen ja pesuhuoneen lämpötilat

Kohde nro	Lämpötila (°C)					
	Olohuone			Pesuhuone		
	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka
1	22	24,5	22,7	25	26	25,4
2	21	24,5	22,4	22,5	27,5	24,1
3	20,5	25,5	22,4	21	40	22,7
4	23,5	24,5	24,1	22	31,5	23,3
5	21	23,5	22,2	19,5	33,5	24,1
6	21	22,5	21,6	21,5	37,5	23,2
7	22	23,5	22,5	16,5	27,5	22,8
8	21,5	24	22,1	23	27	24,5
9	22	25	23	23	29,5	24,1
10	20	21	20,3	21	23	22,4
11	20,5	22	21,3	24	30	24,5
12	20	22	20,5	21	33	23,1
13	18,5	22	20,6	20	23,5	21,2
14	20	25	20,5	24	33	25,5
15	21,5	24,5	22,5	19	21	20
16	22	24,5	23,4	25,5	27,5	26
17	20	22,5	21,2	23,0	25,5	24
21	19	19,5	19,3	18,5	22	19,9

TAULUKKO 7. Olohuoneen ja pesuhuoneen suhteelliset kosteudet

Kohde nro	Kosteus (%rh)					
	Olohuone			Pesuhuone		
	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka
1	33	41	35,9	30	50	33,2
2	31,5	44	35,6	31	81,5	40,4
3	32	55,5	38,1	36	86,5	45,9
4	33,5	53	37,2	35,5	86	39
5	31	44,5	35,9	25,5	86	39,5
6	28,5	37,5	33,1	28	75	36
7	33	44	37,3	32	87	37,3
8	29,5	42,5	33,4	29,5	83	38,3
9	30	41	33,9	32	81,5	40,4
10	37,5	47	40,1	34	66	38,2
11	37	54,5	41	30	84	35,5
12	33	47	36,7	28,5	92	35,6
13	18	28,5	23,2	18	66,5	22,5
14	19,5	27	23,1	14,5	65,5	18,1
15	14,5	22,5	17,6	19,5	54	26
16	25	39	30,4	21,5	76,5	27,7
17	32	39,5	36,5	31,0	80,0	40,9
21	19	27,5	21,7	20,5	77,5	31

4 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

Mittaustulosten ja laskelmien perusteella piirrettiin erilaisia kuvaajia kosteuden siirtymisen ja kosteuden kertymisen suhteen. Myös kastepisteiden minimi- ja maksimiarvoista koottiin taulukko.

Kohteista pyrittiin tekemään mahdollisimman vertailukelpoisia mittaustilanteiden ja olosuhteiden perusteella. Esimerkiksi pesuhuoneiden mittaustulosten vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi kiinnitettiin huomiota siihen, oliko pesuhuoneen oven alla ilmarako. Jos ilmarakoa ei ollut, annettiin kohteiden asukkaille mittausjakson ajalle ohjeeksi pitää pesuhuoneen ovea raollaan.

Vertailukelpoisuuden saavuttaminen oli haasteellista, sillä samankaltaisten olosuhteiden järjestäminen suuressa määrässä koekohteita oli haastavaa. Esimerkiksi ulkoilman lämpötilaan ilmavirtoja mitattaessa ei voinut tietenkään vaikuttaa. Suurimmassa osassa kohteista ilmanvaihtokonetta käytettiin keskiteholla, mutta esimerkiksi kovien pakkasten vuoksi koneen nopeutta jouduttiin pienentämään asuinolojen pitämiseksi hyvänä.

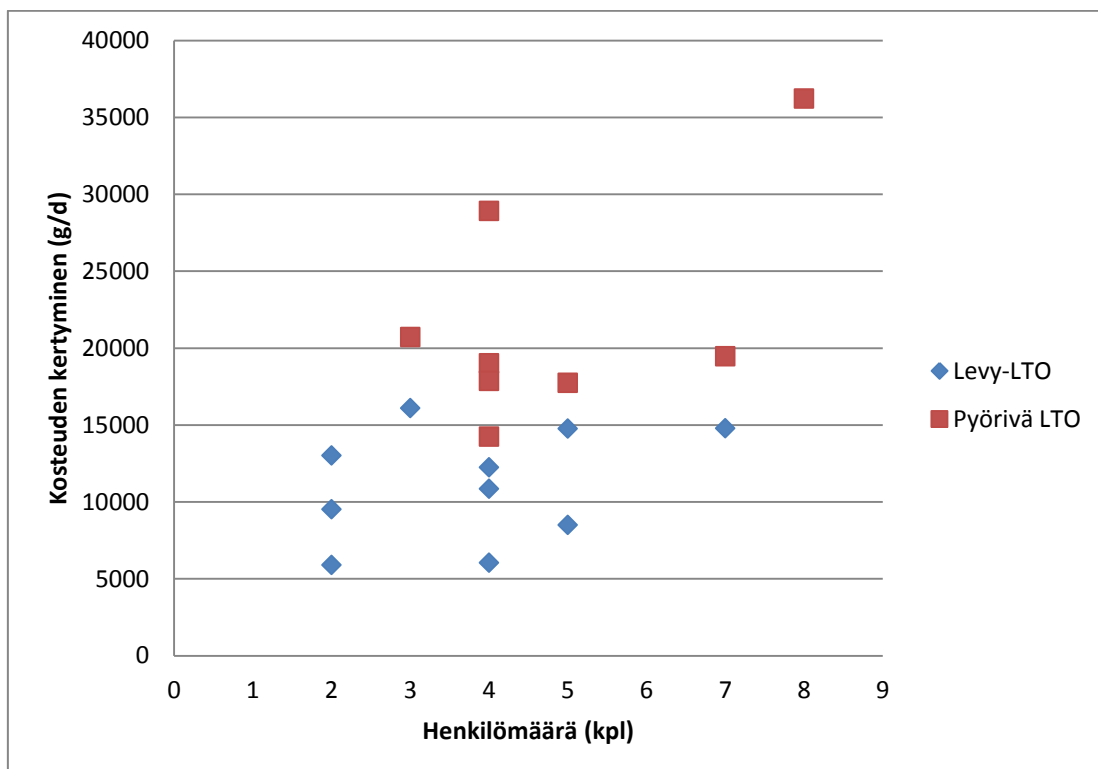
Ilmavirtojen mittaustuloksissa virheen marginaali on suurehko. Virhettä aiheutui menetelmän, mittaajan ja laitteiden lisäksi muun muassa haasteellisista mitausolosuhteista tilojen suhteen. Esimerkiksi anemometritorven asettaminen tiiviisti katto- tai seinäpinnalle oli haastavaa tiettyjen materiaalien epätasaisuuden vuoksi. Virheen mahdollisuus myös rakennuksen paine-eron mittaamisessa oli todennäköisesti huomattava. Virhettä syntyi menetelmän epätarkkuudesta, sillä esimerkiksi tuulen aiheuttamaa paineen vaihtelua oli vaikea välttää. Kosteusmittausten virhemarginaali on melko pieni, sillä mittauksissa käytettyjen USB-mittareiden virhe on hyvin pieni. Kuitenkin virhettä todennäköisesti aiheutui keskiarvojen käytöstä laskennassa ja arvojen muunnoksista.

Kosteuden kertymisen kuvaajat piirrettiin henkilömäärän, rakennusvuoden ja rakennuksen pintamateriaalin suhteen. Kuvissa esitetyt arvot on muutettu grammoiksi päivää kohden (g/d). Henkilömäärän vaikutus kosteuden syntymiseen oli huomattava. Voidaan olettaa, että mitä suurempi perhe sitä enemmän kosteutta asunnossa syntyy. Henkilömäärältään samankokoisissa perheissä

kosteuden kertymisen vaihtelut saattoivat johtua muun muassa lämmönsiirtimen tyypistä, perheiden asuintavoista ja ilmanvaihdon tehokkuudesta.

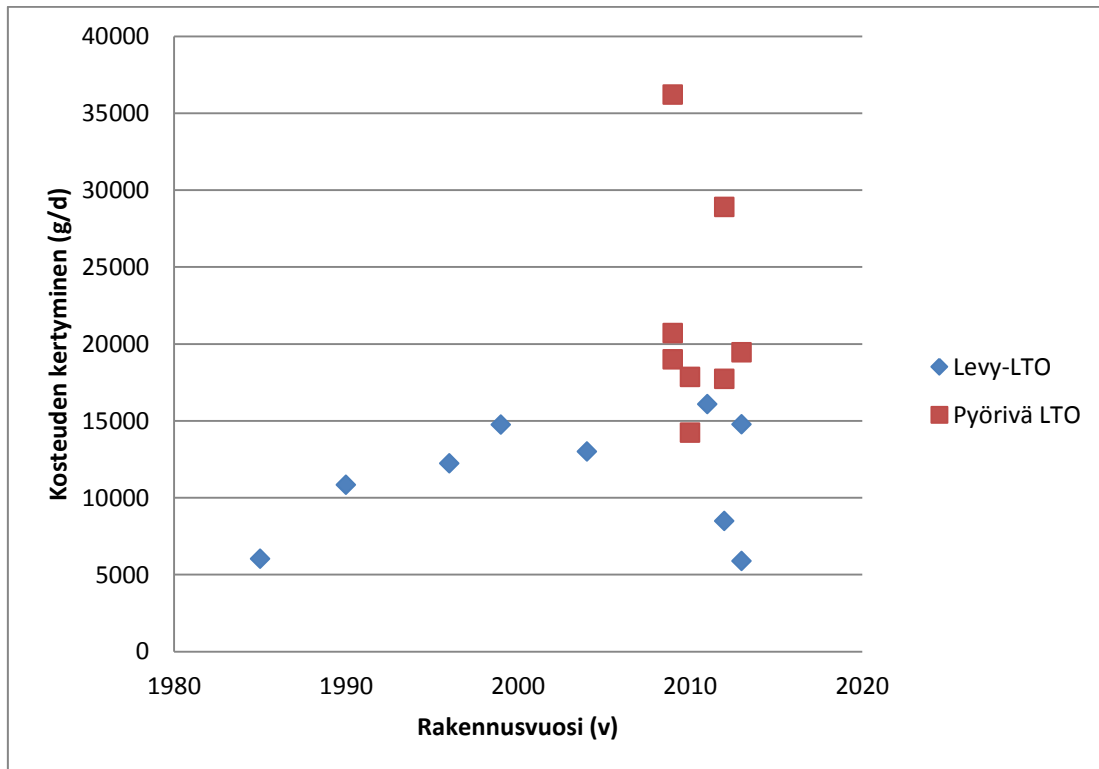
Mittaustulosten perusteella huomattiin, että henkilömäärän ollessa sama lämmönsiirtimen tyypillä oli merkittävä vaikutus kosteuden määrään. Kuvaajasta voidaan nähdä, että pyörivän lämmönsiirtimen kohteissa kosteus grammoina päivää kohden oli poikkeuksetta suurempi kuin levylämmönsiirtimellä varustetuissa kohteissa. Tähän on todennäköisesti syynä pyörivän lämmönsiirtimen ominaisuus palauttaa kosteutta poistoilmasta tuloilmaan. Lasketut kosteuden palautusprosentit löytyvät kohteiden yleistiedoista (liite 3).

Neljän henkilön perheitä oli yhteensä seitsemän, ja näiden kohteiden tuloksia tutkimalla nähdään selkeä ero lämmönsiirtimien välillä. Kaikissa kolmessa kohteessa, joissa oli levylämmönsiirtin, kosteus jäi kosteuden kertymisen suhteen pienemmälle tasolle kuin neljä pyörivällä lämmönsiirtimellä varustettua kohdetta. (Kuva 12).



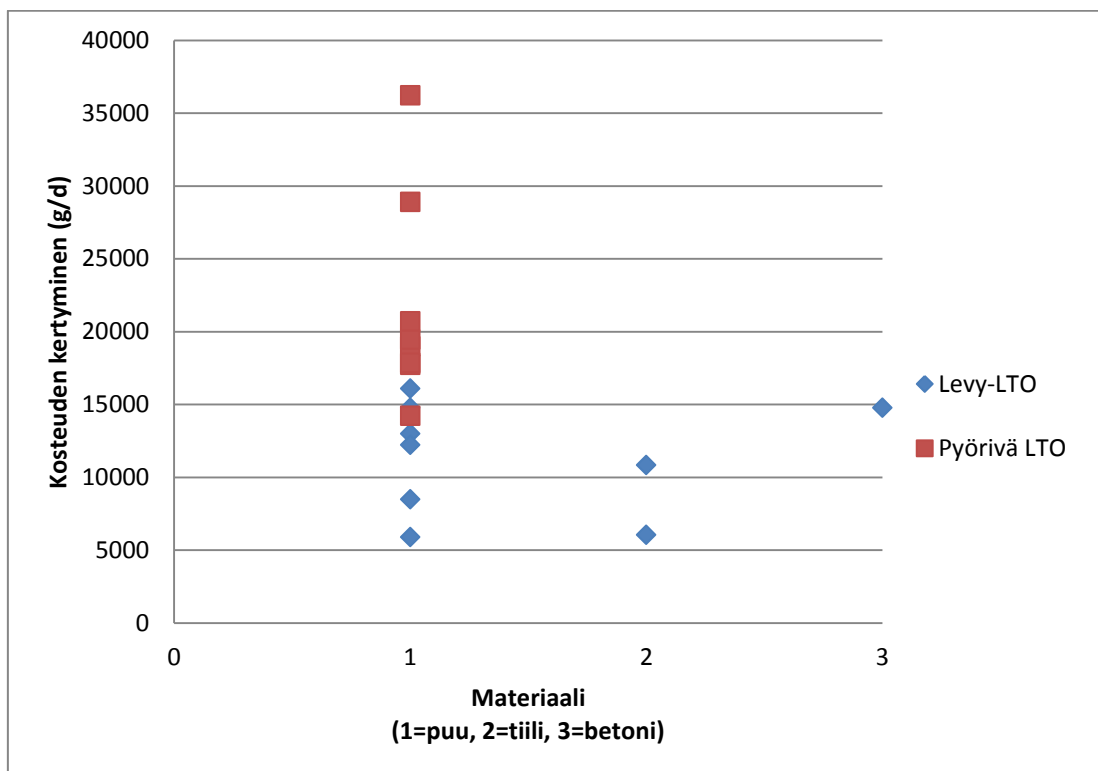
KUVA 12. Henkilömäärän vaikutus kosteuden kertymiseen

Mittaustulosten perusteella huomattiin, että rakennusvuoden 2004 jälkeen pyörivät lämmönsiirtimet ovat yleistyneet. Kohteiden rakennusvuosia verrattaessa huomattiin jälleen ero lämmönsiirrinten välillä. (Kuva 13.) Esimerkiksi rakennusvuonna 2013 pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetussa kohteessa kosteuden kertyminen oli huomattavasti suurempaa kuin levylämmönsiirtimissä.



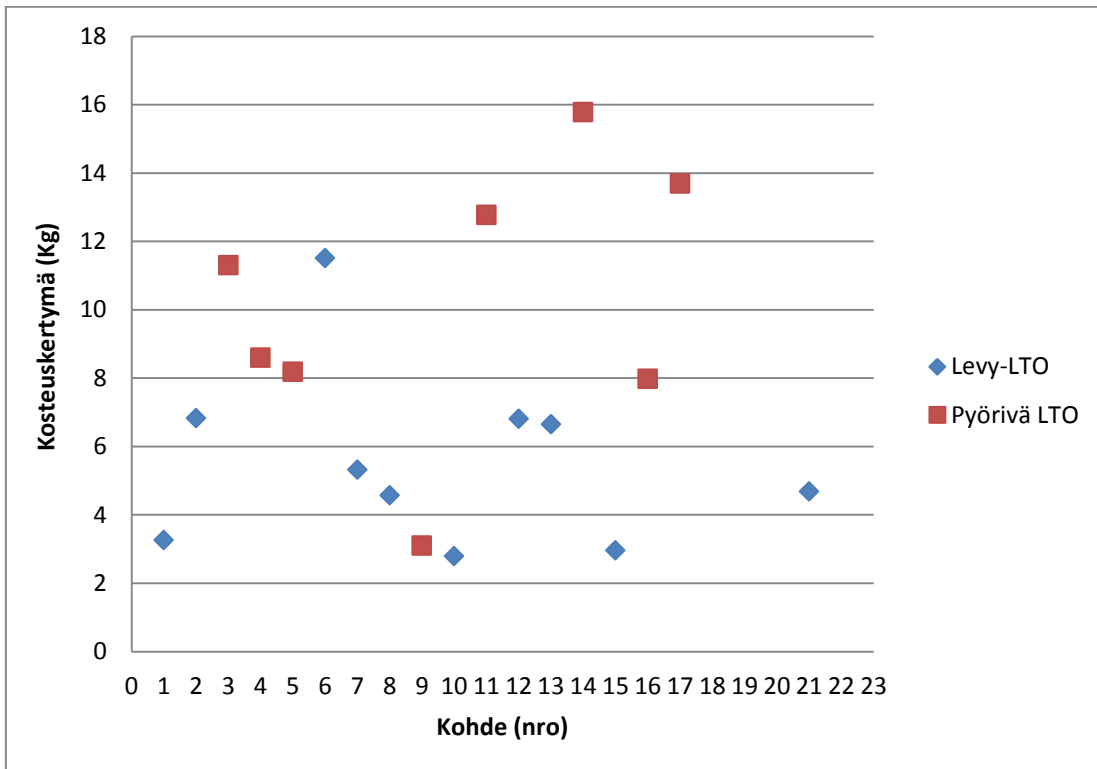
KUVA 13. Rakennusvuoden vaikutus kosteuden kertymiseen

Rakennuksen ulkoverhouksen materiaalin vaikutuksia kosteuden kertymiseen voidaan tässä tutkimuksessa vertailla oikeastaan vain puupinnan osalta. Puu oli yleisin käytetty pintamateriaali valituissa mittauskohteissa. Tuloksista havaittiin, että melkein jokaisessa kohteessa kosteudet olivat korkeampia pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetuissa kohteissa, kun pintamateriaalina oli puu. (Kuva 14.) Ulkoverhous vaikuttaa ulkoseinärakenteen kosteuteen. Sisäilman kosteus ei saa aiheuttaa kosteusvaurioita ulkoverhouksen takana olevaan rakenteeseen. (13, s. 10)



KUVA 14. Pintamateriaalin vaikutus kosteuden kertymiseen

Kosteuden kertymistä kuvattiin kilogrammoina olohuoneen kosteuskertymää laskettaessa. Kaikkien kohteiden olohuoneiden kosteuskertymät koottiin yhteen taulukkoon. (Kuva 15.) Kosteuden kertymistä henkilömäärää kohden voidaan vertailla taulukosta 8.

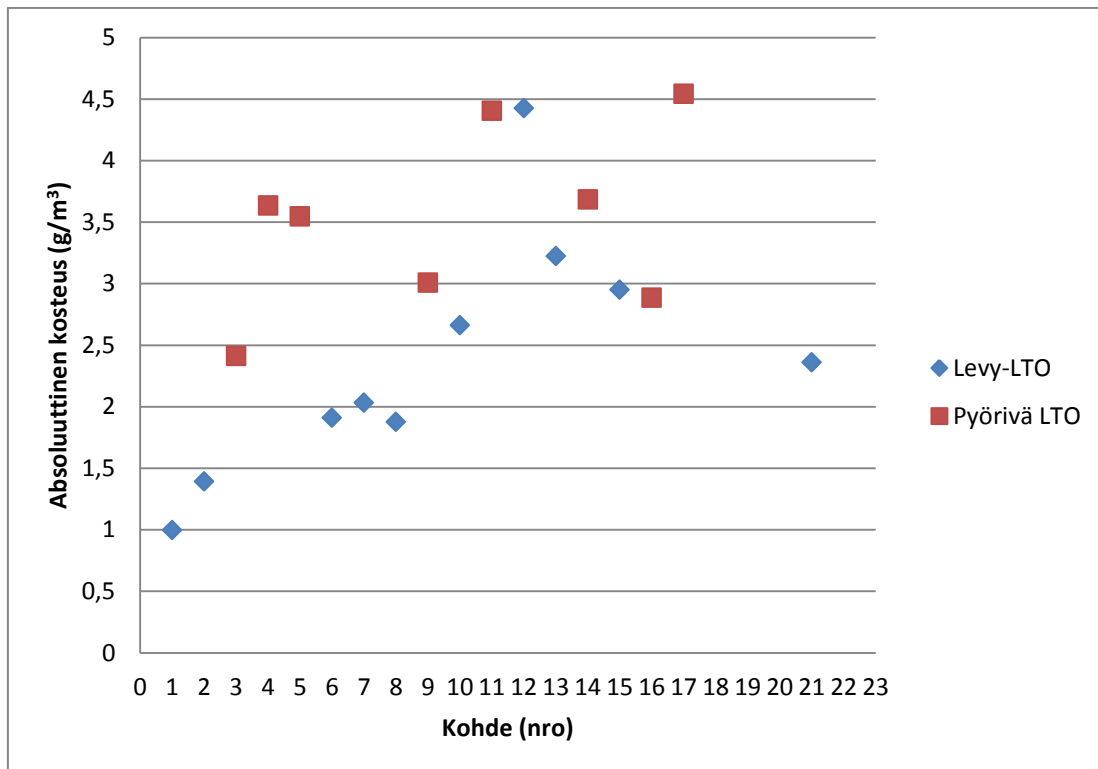


KUVA 15. Kosteuden kertyminen olohuoneessa

TAULUKKO 8. Kosteuden kertyminen olohuoneessa henkilömäärää kohti

Kohde nro	Kosteuden kertyminen/hlö (kg)
1	1,6
2	3,4
3	2,3
4	2,2
5	1,2
6	1,6
7	1,1
8	0,9
9	0,8
10	0,7
11	1,6
12	2,3
13	3,3
14	3,9
15	0,7
16	2,0
17	4,6
21	1,2

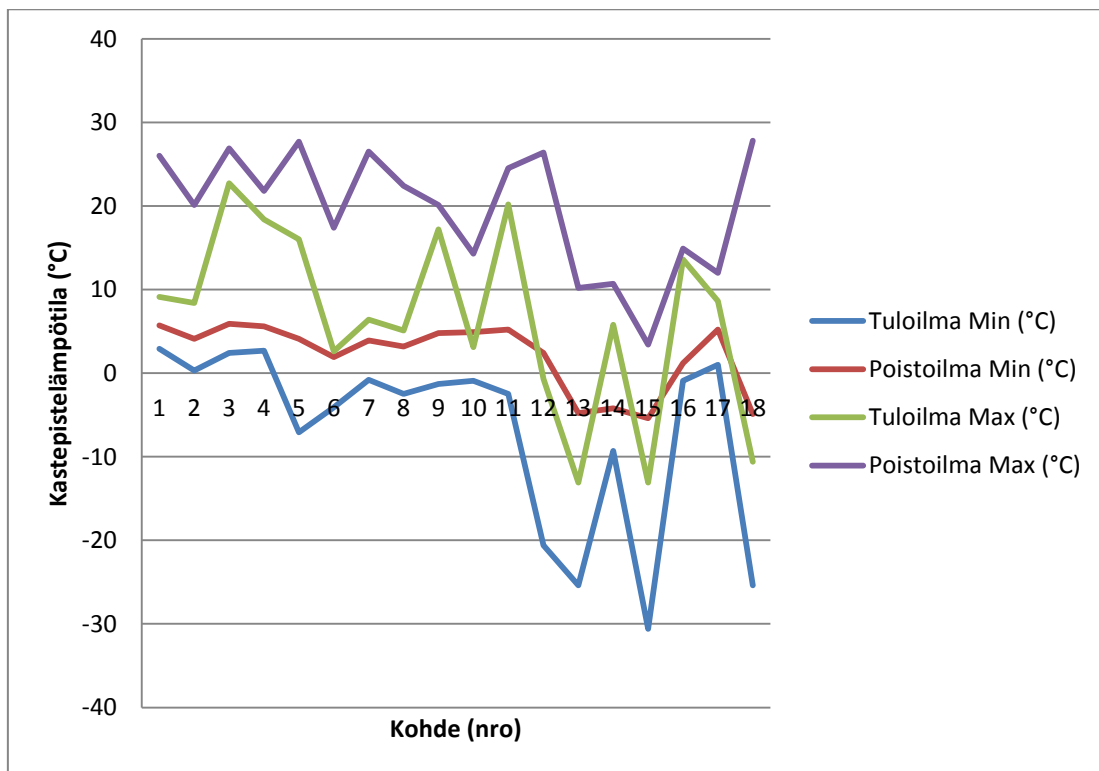
Olohuoneen absoluuttisten kosteuksien keskiarvot koottiin samaan taulukkoon ja taulukon tiedoista piirrettiin kuvaaja. (Kuva 16.) ”Jos sisäilman kosteus ylittää arvon 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa, kostutetaan huoneilmaa vain painavista syistä esimerkiksi prosessin tai varastoinnin niin vaatiessa. Arvo 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa vastaa huoneilman tilaa, jossa suhteellinen kosteus on 45 %, kun huonelämpötila on 21 °C ja ilman paine on 101,3 kPa.” (3, s. 8.) Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 esitetty arvo 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa vastaa arvoa 8,4 g H₂O/m³ kun huonelämpötila on 21 °C. Kuvaajan perusteella voidaan todeta, että mittauskohteiden keskiarvoista lasketut absoluuttiset kosteudet eivät ylitä arvoa 8,4 g H₂O/m³.



KUVA 16. Absoluuttiset kosteudet olohuoneissa

Ilmanvaihtokoneen sisällä suoritettujen kastepistemittaukset minimi- ja maksimi- arvojen välillä koottiin kuvaajaksi. (Kuva 17.) Kuvan perusteella voidaan arvioida, onko veden kondensoituminen kanavan seinämään mahdollista. Kondensoitumista voi tapahtua, jos pintalämpötila kanavassa laskee kastepistelämpötilaa alemmaksi. Kuvaajasta nähdään, että poisto- ja tuloilman maksimi kastepiste-

lämpötilat ovat melko korkeita. Kanavaan voi tiivistyä vettä, jos se on sijoitettu tilaan, jossa on viileämpää kuin mitattu kastepistelämpötila. Suurin osa ilmanvaihtokoneista oli sijoitettu pesuhuoneeseen ja näissä kohteissa korkeiden kastepisteiden vuoksi tiivistyminen on epätodennäköistä. Kohteissa, joissa ilmanvaihtokone oli sijoitettu tekniseen tilaan, kanavaan on mahdollista tiivistyä vettä, sillä teknisten tilojen lämpötilat ovat yleensä reilusti pesuhuoneiden lämpötiloja matalampia. (14.)



KUVA 17. Kastepistelämpötilat

5 YHTEENVETO

Tässä työssä arvioitiin koekohteissa syntyneitä kosteuskuormia ja niiden jakautumista eri tekijöihin. Työn tarkoituksena oli selvittää kosteuden siirtyminen poistoilmasta takaisin tuloilmaan kahdessa erityyppisessä lämmöntalteenottojärjestelmässä. Työssä käsiteltiin mittausmenetelmiä ja asuntojen sisäilman kosteutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Työssä selvitettiin koekohteiden ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmavirrat, mittaamalla tulo- ja poistoilmavirrat huonekohtaisesti. Lisäksi selvitettiin koekohteiden mahdolliset ongelmat ilmanvaihdon ja kosteuden suhteen. Kosteusmittaukset suoritettiin vähintään kahden vuorokauden mittausjaksoissa ilmanvaihtokoneessa ja valituissa huoneiloissa. Kosteusmittarit oli ohjelmoitu mittaamaan 15 minuutin välein ilman suhteellista kosteutta, lämpötilaa ja kastepistettä. Mittausjakson loputtua kerätty aineisto purettiin tietokoneohjelman avulla ja saadut mitaustulokset koottiin taulukoiksi ja kuvaajiksi. Laskennan perustana käytettiin kosteusmittareiden mittaamia arvoja, joiden avulla laskettiin absoluuttiset kosteudet ja kosteudensiirron suhteet. Absoluuttisten kosteuksien avulla arvioitiin laskennallisesti myös kosteustaseet.

Tuloksina esitettiin erilaisia taulukoita ja kuvaajia kosteuden siirtymisestä ja kertymisestä suhteessa eri tekijöihin. Tutkimustuloksia analysoitaessa havaittiin, että eri lämmöntalteenottojärjestelmissä on huomattavia eroja kosteuden siirtymisessä poistoilmasta tuloilmaan. Olohuoneiden mitaustulosten perusteella todettiin, että kaikkien koekohteiden absoluuttiset kosteudet huoneilmassa pysyivät alle Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 esitetyn arvon, riippumatta käytössä olevasta lämmöntalteenottojärjestelmästä.

Sisäilman suhteellisen kosteuden ”oikeaa” arvoa on hyvin vaikea sanoa. Voidaan kuitenkin todeta, että levylämmönsiirtimellä varustetuissa kohteissa suhteellinen kosteus on pienempi ja sisäilma on kuivempaa kuin pyörivällä lämmönsiirtimellä varustetuissa kohteissa. Mittauksissa syntyy aina virheitä. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää suuntaa-antavina suurehkon otoksen vuoksi. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää uskottavina ja suuntaa-antavina suurehkon otoksen

ja pitkäköjen mittausjaksojen vuoksi. Työn tuloksena kerättyä mittausaineistoa voitaisiin hyödyntää tässä opinnäytetyössä esiteltyjen yhteenvetojen lisäksi myös laajemmin. Aineisto tarjoaa esimerkiksi mahdollisuudet tutkia ajan funktiona suhteellista kosteutta, lämpötilaa ja kastepistettä.

LÄHTEET

1. Seppänen, Olli 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: SOL-VER palvelut Oy.
2. Kuiva ja kostea ilma. Hengitysliitto. Saatavissa: <http://www.hengitysliitto.fi/fi>. Hakupäivä 2.3.2016.
3. D2 (2012.) 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 1.3.2016.
4. Kuivaketju10. 2016. Oulun rakennusvalvonta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://kuivaketju10.fi/>. Hakupäivä 1.2.2016.
5. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003: Asumisterveysohje. http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf. Hakupäivä 15.2.2016.
6. Korkeamäki, Tapio. Rakennusfysiikan perusteet. Kosteus. Saatavissa: <http://www.kuntoarviot.net/files/8047.pdf>. Hakupäivä 15.2.2016.
7. Lämpötila ja kosteus. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/etusivu>. Hakupäivä 15.2.2016.
8. Ilman kosteus. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>. Hakupäivä 15.2.2016.
9. Rakennusfysiikkaa rakennusinsinööreille. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosan osio K (Kosteus). Luonnos 2004. Saatavissa: http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf. Hakupäivä 15.2.2016.
10. SFS 5512. 1992. Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

11. Ilmavirtojen mittaus- ja säätöopas. 2010. Turku: FläktWoods OY.
12. Tekniikan kaavasto. 2012. Tampere: Tammertekniikka Oy.
13. C2 (1998.) 1998. Kosteus. Määräykset ja ohjeet 1998. C2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1918-c2.pdf>. Hakupäivä 18.3.2016.
14. Kimari, Pirjo 2016. Re: Kastepisteen kuvaaja. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Krista Porvari. 5.4.2016.

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Mittauspöytäkirja yleistiedot

Liite 3 Kohteiden yleistiedot

Liite 4 Mittauspöytäkirja ilmavirrat

Liite 5 Muistiinpano mittauspöytäkirja

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Krista Porvari

Tilaaaja LVI-Sasto

Toimitusjohtaja Janne Nevala

Työn nimi Lämmöntalteenottojärjestelmän vaikutus asunnon suhteelliseen kosteuteen

Työn kuvaus Oulun rakennusvalvonnalla on menossa projekti ”Kuivaketju 10”. Projektissa laaditaan ohjekortteja, joilla pyritään poistamaan kosteuden aiheuttamia ongelmia uusissa rakennuksissa.

Tässä työssä selvitetään koekohteiden poistoilman, jäteilman, ulkoilman ja tuloilman lämpötilat ja kosteudet jatkuvana mittauksena. Mittaustuloksista lasketaan tuloilman lämpötilasuhteet ja kosteudensiirron suhteet.

Työssä arvioidaan koekohteiden kosteuskuormia ja niiden jakautumista eri tekijöihin kuten rakenteiden kuivumiseen, ulkoilman kosteussisältöön sekä toimintoihin asunnoissa kuten pyykin kuivaukseen, saunomiseen ja ruuan laittoon.

Työssä lasketaan koekohteiden kosteustaseet mitatuista tuloksista.

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää mittauksin kosteuden siirtyminen poistoilmasta takaisin tuloilmaan erilaisissa lämmöntalteenottoratkaisuissa. Työssä selvitetään koekohteissa myös poistoilman kosteuteen vaikuttavien tekijöiden osuuksia, esim. rakenteiden kuivuminen, ulkoilman kosteussisältö sekä toiminnat asunnoissa kuten pyykin kuivaus, saunominen ja ruuan laitto.

Tavoiteaikataulu

Koekohteiden mittaussuunnitelmat lokakuun 2015 loppuun mennessä
Mittaukset koekohteissa tammikuun 2016 loppuun mennessä
Kosteustaseiden laskenta tammikuun 2016 loppuun mennessä
Loppuraportti valmis maaliskuun 2016 loppuun mennessä

Päiväys ja allekirjoitukset

Janne Nevala

Krista Porvari

Mittauspöytäkirja

Kohde			
Päivämäärä			
Mittaja	Krista Porvari		
Mittauslaitteet		Virhe	
Ulkoilman lämpötila			

Kohteen tiedot

Rakennusvuosi		Huonekorkeus	
Pinta-ala		Henkilömäärä	
Kerrokset			
Perustuksen tyyppi			
Seinän rakenne			

IV-kone

Tyyppi			
Merkki			
Malli			
Teho			
Käyttöönottopvm			

Ongelmat

--

Säädöt, nuohoukset, suodattimien vaihdot, mittaukset

--

Kohde	Ilmavirtojen mittaus lpt		Ilmavirrat			Kosteuden palautus %
	Pvm	Lpt ulko (C°)	Tulo (l/s)	Poisto (l/s)	(l/s)/m ²	
1	1.11.2015	8	55	49	0,6	
2	5.11.2015	0	59	66	0,5	
3	9.11.2015	4	52	64	0,6	33
4	11.11.2015	3	57	64	0,5	50
5	19.11.2015	-1	46	54	0,3	23
6	23.11.2015	-2	57	80	0,3	
7	27.11.2015	4	45	51	0,4	
8	3.12.2015	0	50	59	0,3	
9	30.11.2015	2	44	54	0,4	31
10	4.12.2015	-2	24	26	0,2	
11	11.12.2015	-1	68	96	0,5	30
12	15.12.2015	-11	20	38	0,3	
13	7.1.2016	-30	23	37	0,4	
14	18.1.2016	-25,5	79	93	0,5	64
15	19.1.2016	-26	40	42	0,4	
16	25.1.2016	-4	63	58	0,6	75
17	16.12.2015	-9	42	46	0,4	57
21	5.12.2015	1	28	36	0,2	

Kohde	Kohteen tiedot						
	Rv	Pinta-ala (m ²)	Kerrokset	Perustuksen tyyppi	Seinä rakenne	Huonekork. (m)	Henkilömäärä
1	2013	91,5	1	Maavarainen betoni	Puu	2,5	2
2	2004	130	2	Maavarainen betoni	Puu	2,6/2,3	2
3	2012	102	1	Maavarainen betoni	Puu	2,5/3,1	5
4	2009	120	1,5	Betoni	Puu	2,6/4	4
5	2013	155	1	Maavarainen betoni	Puu	2,8/3,3	7
6	2013	230	1	Muurattu harkko	Puu	2,7/3,2	7
7	2012	125	1	Maavarainen betoni	Puu	2,6/3,2	5
8	1999	221	2	Maavarainen betoni	Betoni	2,5	5
9	2010	145	1	Betoni	Puu	2,6/3,4	4
10	1985	150	1	Betoni	Tiili	2,5	4
11	2009	187	2	Maavarainen harkko	Puu	2,5/3,5	8
12	2011	134	1	Maavarainen betoni	Puu	2,6/3	3
13	2002	105	1	Maavarainen betoni	Puu	2,6/3,2	2
14	2012	205,5	1,5	Maavarainen betoni	Puu	2,5/4,4	4
15	1996	110	1	Betoni	Puu	2,5/3,3	4
16	2010	98	1	Maavarainen betoni	Puu	2,8	4
17	2009	120	1,5	Betoni	Puu	2,6/4	3
21	1990	152	1	Maavarainen betoni	Tiili	2,5	4

Kohde	Kohteen tiedot						
	Rv	Pinta-ala (m ²)	Kerrokset	Perustuksen tyyppi	Seinä rakenne	Huonekork. (m)	Henkilömäärä
1	2013	91,5	1	Maavarainen betoni	Puu	2,5	2
2	2004	130	2	Maavarainen betoni	Puu	2,6/2,3	2
3	2012	102	1	Maavarainen betoni	Puu	2,5/3,1	5
4	2009	120	1,5	Betoni	Puu	2,6/4	4
5	2013	155	1	Maavarainen betoni	Puu	2,8/3,3	7
6	2013	230	1	Muurattu harkko	Puu	2,7/3,2	7
7	2012	125	1	Maavarainen betoni	Puu	2,6/3,2	5
8	1999	221	2	Maavarainen betoni	Betoni	2,5	5
9	2010	145	1	Betoni	Puu	2,6/3,4	4
10	1985	150	1	Betoni	Tiili	2,5	4
11	2009	187	2	Maavarainen harkko	Puu	2,5/3,5	8
12	2011	134	1	Maavarainen betoni	Puu	2,6/3	3
13	2002	105	1	Maavarainen betoni	Puu	2,6/3,2	2
14	2012	205,5	1,5	Maavarainen betoni	Puu	2,5/4,4	4
15	1996	110	1	Betoni	Puu	2,5/3,3	4
16	2010	98	1	Maavarainen betoni	Puu	2,8	4
17	2009	120	1,5	Betoni	Puu	2,6/4	3
21	1990	152	1	Maavarainen betoni	Tiili	2,5	4

